

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-255425
 (43)Date of publication of application : 21.09.2001

(51)Int.Cl. G02B 6/12
 C08J 7/00
 G02B 6/13
 G02B 6/122

(21)Application number : 2000-073999
 (22)Date of filing : 13.03.2000

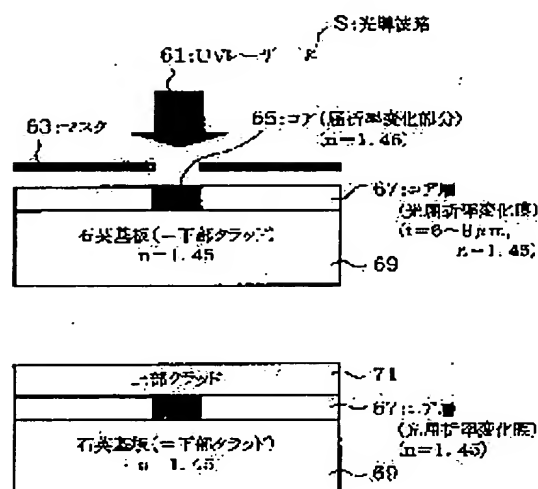
(71)Applicant : OKI ELECTRIC IND CO LTD
 (72)Inventor : TERAO YOSHITAKA

(54) OPTICAL WAVEGUIDE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a low-cost optical waveguide in which the refractive index can be easily controlled and which can be widely used.

SOLUTION: Organic and inorganic hybrid films are applied by repeating a method of spin coating and drying on a quartz substrate as a lower clad 69 to form a core layer 67 having an almost same refractive index as that of the lower clad 69. Then a mask 63 having a space to pass light only in the part to form a core and other part shielded with Cr or the like against light is disposed on the core layer 67 and irradiated with UV laser light 61 to change the refractive index only in the irradiated part to form the core 65. Then the same organic and inorganic hybrid films as the core layer 67 are applied on the core layer 67 to form an upper clad 71 to complete the optical waveguide. By varying the irradiation time and intensity of the UV laser light 61, changes in the refractive index can be controlled.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number]
 [Date of registration]
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

- [Claim 1] The presentation of waveguide Organic and the gap consider as the inorganic hybrid film and choose said mineral constituent from the group who consisted of condensation polymerization objects of the condensation polymerization object of a tetra-ethoxy silane and a tetra-ethoxy silane, a tetramethoxy silane, and a tetramethoxy silane or one matter or Optical waveguide characterized by raising the refractive index of organic [said] and the inorganic hybrid film by considering as the mixture of two or more matter chosen from said group, using said organic component as acrylic resin, and irradiating UV light.
- [Claim 2] Optical waveguide according to claim 1 characterized by using as a core the part into which said refractive index rose.
- [Claim 3] Optical waveguide according to claim 1 characterized by making said acrylic resin into an acrylic and silicon modified resin.
- [Claim 4] Optical waveguide according to claim 1 characterized by considering as the acrylic and silicon modified resin which the alkyl group or the alkyl group was placed [modified resin] between the carboxyl group contained in acrylic resin in said acrylic resin, and combined the trialkoxysilane radical, the alcoholic radical, or the disilane radical with it.
- [Claim 5] Optical waveguide according to claim 1 characterized by making the ratio of the organic component in organic [said] and the inorganic hybrid film into 6% - 60%.
- [Claim 6] Optical waveguide according to claim 1 characterized by setting wavelength of said UV laser beam to 193nm - 400nm.
- [Claim 7] Optical waveguide according to claim 2 characterized by preparing the field where the refractive index changed periodically on said core.
- [Claim 8] Optical waveguide according to claim 2 characterized by considering refractive-index change of said core as continuous change.
- [Claim 9] Optical waveguide according to claim 2 characterized by changing the width of face of said core continuously.
- [Claim 10] Optical waveguide according to claim 2 characterized by having considered refractive-index change of said core as continuous change, and changing the width of face of said core continuously.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Especially this invention relates to the optical waveguide which used the presentation of waveguide as organic and the inorganic hybrid film about optical waveguide.

[0002]

[Description of the Prior Art] The presentation of the optical waveguide formed on the flat-surface substrate is roughly divided, and two, an inorganic system and an organic system, are known. The former is making a germanium dioxide, boron oxide, phosphorus oxide, etc. dope in order to control the refractive index of a core and a clad for SiO₂ to a parent. The flame depositing method, the CVD method, etc. are known as the creation approach.

[0003] Moreover, it is an approach using an organic polymer and fluorination polyimide etc. is known so that the latter can form the film easily using a spin coat method etc. These fundamental creation approaches are explained below.

[0004] By the inorganic system waveguide film, SiO₂ film used as the lower cladding layer (about 20 micrometers in thickness) and core layer (thickness of 5-11 micrometers, width of face of 5-11 micrometers) used as the base of optical waveguide, and an up cladding layer (about 20 micrometers in thickness) is first formed with the flame depositing method or a CVD method on Si substrate.

[0005] In order to make a core layer spread light in a core by the single mode, it is made to dope GeO₂ in order to give a refractive-index difference with a clad (less than 20 volume %, 0.2 - 0.8% of refractive-index differences). The reactive-ion-etching method (the RIE method) is used for patterning of a core.

[0006] By the organic system waveguide film, the film used as the lower cladding layer (about 20 micrometers in thickness) and core layer (thickness of 5-11 micrometers, width of face of 5-11 micrometers) used as the base of waveguide, and an up cladding layer (about 20 micrometers in thickness) is formed with a spin coat method on quartz glass or Si substrate.

[0007] The refractive-index difference of a core and a clad can be easily performed by adjusting the fluorine content in fluorination polyimide. The RIE method is used for patterning of a core like an inorganic system.

[0008] Next, the conventional approach of creating a grating on waveguide is explained. By making a periodic refractive-index change cause on waveguide, this reflects the light of the wavelength suitable for the period of the refractive index, except it, has the property made to penetrate and is broadly used by optical communication.

[0009] Drawing 7 is drawing showing the creation approach of an inorganic system waveguide grating. In inorganic system waveguide, it is irradiating UV light at a core, and it is known that the refractive index of a core will increase. This originates in UV light acting and an oxygen defect arising in GeO₂-SiO₂ structure included in a core. Generally at this time, refractive-index change serves as ten to 3 order.

[0010] In order to create a grating on this inorganic system waveguide, the phase mask method is used. As shown in drawing 7, the laser beam 51 with a wavelength of 248nm is first outputted from a laser light source 2 (KrF excimer laser made from lambda FIJKUSU), and an attenuator 3 is passed.

[0011] Next, a direction is converted by the mirror 5, a beam diameter is adjusted by the cylindrical lens 7, and the phase mask 9 irradiates. A laser beam 53 is diffracted with this phase mask 9, and the striped diffracted light 55 arises.

[0012] If the inorganic system photosensitivity waveguide 31 in the condition that the clad 35 was exposed to the lower part of the phase mask 9 is installed, a local refractive-index change will take place to the core section 37 in a part with high diffracted-light reinforcement. If incidence of the laser beam 61 is carried out from the shaft orientations of this waveguide 31, outgoing radiation of the light lambda_{dab}63 of the wavelength shown in (a formula 1) will be carried out to the incidence edge 39 by Bragg reflection.

[0013] $\lambda_{dab}=2$ and $n_{eff}-\lambda$ (formula 1)

Here, n_{eff} is the core effective refractive index of the grating section, and λ is the period of refractive-index change of waveguide.

[0014] The concavo-convex pattern with which the phase mask 9 serves as a diffraction grating 13 at either a front face or a rear face is formed. This period becomes twice λ . The creation approach is explained below.

[0015] First, Cr thin film is formed in a quartz-glass substrate with a SUPPATA ring or vacuum deposition. Next, patterning of the Cr thin film is carried out by the electron-beam-lithography method. At this time, Rhine (Cr section) and a tooth space are made into the same size method λ . 2λ becomes the period of a diffraction-grating train.

[0016] Then, the quartz of a substrate is etched using the ion etching method by using Cr pattern as a mask, and a slot is formed. If an acid removes Cr thin film, the diffraction-grating train 13 will be created on a quartz substrate.

[0017] On the other hand, since the magnitude of a laser beam 53 is smaller than the die length (it is about 100mm at the maximum) of a phase mask, in creating a grating with a die length of about 25-100mm, it usually becomes the exposure approach which is made to move a mirror 5 and scans a laser beam 53 to the longitudinal direction of the phase mask 9.

[0018] In organic system waveguide, the refractive-index rise of ten to 2 order is possible by irradiating synchrotron orbital radiation (X-ray) at fluorination polyimide. This is considered to originate in reduction of the molecular volume by the desorption of a fluorine.

[0019] The creation approach of an organic system waveguide grating is performed by irradiating synchrotron orbital radiation through the X-ray mask which has a diffraction-grating pattern at the polyimide optical waveguide in which the core and the clad were formed. In order that synchrotron orbital radiation may show rectilinear-propagation nature, the refractive index of the core

section directly under a diffraction grating will rise.

[0020] Moreover, in the conventional optical waveguide, the refractive index of a core was fixed. Drawing 8 is drawing showing the optical waveguide which has the core section 97 of the shape of a curve by the Prior art. As shown in drawing 8, it was in the condition with which a refractive index and numerical aperture were made consistent so that joint effectiveness with components, such as a fiber to connect, might be raised, since the conventional optical waveguide had the fixed refractive index of the core section 97, and since light leaked to the clad section 98 and it became big loss, it was impossible to have enlarged the curvature of the curvilinear section.

[0021]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, in the inorganic system waveguide of the above-mentioned configuration, since the opposite side vacuum devices and the photolithography process of a low loss are used, creation cost becomes high. Moreover, about 1 micrometer is a limitation and thickness cannot do it thickly any more. In organic system waveguide, although vacuum devices are not used, since a photolithography is used for formation of a core, creation cost is high [a loss is high a little and] too.

[0022] Moreover, since both cannot carry out easily [control of a refractive index], the application range becomes narrow. Moreover, since a grating could not be created after patterning of a core, loss of a transparency band could not be suppressed by that cause, but there was a trouble that it was also difficult to raise the degree of integration of wiring of optical waveguide.

[0023] This invention is made in view of the above-mentioned trouble which the conventional optical waveguide has, and low cost and refractive-index control are easy for the purpose of this invention, and are to offer the large optical waveguide of application.

[0024]

[Means for Solving the Problem] The above-mentioned technical problem In order to solve, the presentation of waveguide Organic and the gap consider as the inorganic hybrid film and choose a mineral constituent from the group who consisted of condensation polymerization objects of the condensation polymerization object of a tetra-ethoxy silane and a tetra-ethoxy silane, a tetramethoxy silane, and a tetramethoxy silane or one matter — or The optical waveguide characterized by raising the refractive index of organic and the inorganic hybrid film is offered by considering as the mixture of two or more matter chosen from said group, using an organic component as acrylic resin, and irradiating UV light. The optical waveguide characterized by using as a core the part into which the refractive index rose is sufficient.

[0025] According to this configuration, the large optical waveguide of application with easy low cost and refractive-index control can be offered.

[0026] Moreover, it is good also as optical waveguide characterized by preparing on a core the field where the refractive index changed periodically. According to this configuration, the optical waveguide which has the grating which reduced loss of low cost and the transmitted light is offered.

[0027] Moreover, the refractive index or core width of face of a core is changed continuously, or it is good also as optical waveguide to which the both are both changed continuously. When the direction with the optical waveguide of different core width of face can make joint effectiveness high like a fiber and semiconductor laser according to this configuration, the large optical waveguide of application is offered in a part with narrow core width of face — it is large, and the refractive-index difference of a core and a clad can be made small in a large part, and can be used for junction of two components.

[0028]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of suitable operation of the optical waveguide concerning this invention is explained to a detail, referring to an accompanying drawing below. In addition, in this specification and a drawing, duplication explanation is omitted by ***** which attaches the same sign about the component which has the same functional configuration substantially.

[0029] (Gestalt of the 1st operation) The process of the organic and the inorganic hybrid film to which a refractive index can be changed by UV irradiation is explained first. Drawing 1 is drawing showing the presentation of organic [concerning the gestalt of this operation], and the inorganic hybrid film.

[0030] As shown in drawing 1, the alcoholic solution of the condensation polymerization object of a tetra-ethoxy silane (TEOS) or a tetramethoxy silane (TMOS) is used as an inorganic material A. The solution with which the resin which has the dimethylsilane structure in a side chain by using acrylic resin as a principal chain as an organic material B was mixed in alcohol is used.

[0031] It applies to Si or SiO₂ substrate with a spin coat method after adjusting an above-mentioned inorganic material A and an above-mentioned organic material B to desired viscosity, and organic and the inorganic hybrid film are completed by 100-degree-C desiccation for 15 minutes.

[0032] However, an optimum value exists in the mixing ratio of organic and an inorganic material. Drawing 2 shows the acrylic silicon resin content dependency of the thickness of organic and the inorganic hybrid film, and a refractive index.

[0033] As shown in drawing 2, the content of an organic material presupposes that it divides into P field which is 6% or less, Q field which is 6% - 60%, and R field which is 60% or more. In P field, a crack arises on the film, in R field, a wrinkling will occur on the film and both surface smooth nature will be lost. Therefore, it is Q field, i.e., the range whose content of an organic material is 6% - 60%, which can be used for optical waveguide.

[0034] Moreover, it increases as the content of thickness of an organic material increases, and it can be formed to about 7 micrometers by one spreading. It is 7 micrometers from the thickness in Q field which is the optimal range of the content of an organic material, i.e., about 2 micrometers, that it can be used for optical waveguide. At this time, the range of a refractive index is about 1.44 to 1.47, and it is the almost same value as a quartz.

[0035] Next, how to create optical waveguide using the film adjusted as mentioned above is explained. Drawing 3 is drawing showing the creation approach of the optical waveguide S concerning the gestalt of this operation. With the gestalt of this operation, a quartz substrate (refractive index 1.45) is used for the lower cladding layer 69, and organic [of the almost same refractive index as a core layer 67] and the inorganic hybrid film (20% of organic quantitative formulas, refractive index 1.45) are formed. The thickness of a core repeats a spin coat and desiccation twice so that it may be set to about 6 micrometers.

[0036] Next, the mask 63 (the area which does not want to irradiate UV light is shaded by Cr etc.) as for which the same tooth space as the pattern width of face (for example, 6 micrometers) of the core 65 to create was vacant is arranged on a core layer 67.

[0037] The UV laser 61 is irradiated along with the tooth-space pattern of a mask 63. It has and the UV laser 61 which was is Ar-CW laser (300Fred(s) made from coherent, wavelength of 244nm). The UV laser 61 is one with small (for example,

0.5mmx2mm) exposure area, and when drawing die length is larger than this, the means to which a substrate or laser is moved is required for it.

[0038] The exposure of the UV laser 61 was made into 200 J/cm² with the gestalt of this operation. Consequently, compared with the place which is not irradiated, the refractive index increased the core 65 which is the part by which the UV laser 61 was irradiated by 1.4%. This is a value with which 0.2% - 0.8% of refractive-index differences required for a core and a clad is filled enough. Moreover, adjustment of refractive-index change becomes possible by changing the exposure of the UV laser 61.

[0039] Since the part by which the UV laser 61 is not irradiated by the core layer 67 is the same refractive index as the lower cladding layer 69, it serves as a flank clad on structure. On this film, organic [of the same presentation as a core layer 67] and 15 micrometers of inorganic hybrid film are applied from 10 micrometers, the up clad 71 is formed by drying, and optical waveguide S is completed.

[0040] Thus, according to the gestalt of this operation, the core and cladding layer of optical waveguide can be created, and since control of a refractive index is easy, the large optical waveguide of application can be created by low cost, without completely using vacuum devices and a photolithography process.

[0041] (Gestalt of the 2nd operation) The gestalt of this operation creates a grating to the optical waveguide created with the gestalt of the 1st operation. First, organic and the inorganic hybrid film are created like the gestalt of the 1st operation in the procedure shown in drawing 3 using the alcoholic solution of the ingredient shown in drawing 1. That is, in the core layer of organic [which was applied with the spin coat method], and the inorganic hybrid film, UV light is irradiated in the area limited using the mask, a refractive index is changed, and a core is created. Furthermore, the same ingredient is applied as an up clad, and optical waveguide is completed. Here, the exposure of UV light was made into 100 J/cm².

[0042] Next, the creation approach of a grating is explained, referring to drawing 4. Drawing 4 is drawing showing the creation approach of the grating concerning the gestalt of this operation. In order to create a grating, the phase mask method is used.

[0043] As shown in drawing 4, the laser beam 41 with a wavelength of 244nm is first outputted from a laser light source 1 (Ar-CW laser made from coherent), and an attenuator 3 is passed.

[0044] Next, a direction is converted by the mirror 5, a beam diameter is adjusted by the cylindrical lens 7, and the phase mask 9 irradiates. A laser beam 43 is diffracted with this phase mask 9, and the striped diffracted light 45 arises.

[0045] If the optical waveguide 11 by organic [in the condition that the clad 15 was exposed to the lower part of the phase mask 9], and the inorganic hybrid film is installed, a local refractive-index change will take place to the core section 17 in a part with high diffracted-light reinforcement. If incidence of the laser beam 61 is carried out from the shaft orientations of this waveguide 11, outgoing radiation of the light λ_{dab63} of the wavelength shown in (a formula 1) will be carried out to the incidence edge 19 by Bragg reflection.

[0046]

$\lambda_{\text{dab}} = 2$ and $n_{\text{eff}} - \lambda$ (formula 1)

Here, n_{eff} is the core effective refractive index of the grating section, and λ is the period of refractive-index change of waveguide.

[0047] The concavo-convex pattern with which the phase mask 9 serves as a diffraction grating 13 at either a front face or a rear face is formed. This period becomes twice λ . The creation approach is explained below.

[0048] First, Cr thin film is formed in a quartz-glass substrate with a SUPPATA ring or vacuum deposition. Next, patterning of the Cr thin film is carried out by the electron-beam-lithography method. At this time, Rhine (Cr section) and a tooth space are made into the same size method λ . 2λ becomes the period of a diffraction-grating train.

[0049] Then, the quartz of a substrate is etched using the ion etching method by using Cr pattern as a mask, and a slot is formed. If an acid removes Cr thin film, the diffraction-grating train 13 will be created on a quartz substrate.

[0050] On the other hand, since the magnitude of a laser beam 43 is smaller than the die length (it is about 100mm at the maximum) of the phase mask 9, in creating a grating with a die length of 25mm - about 100mm, it usually becomes the exposure approach which is made to move a mirror 5 and scans a laser beam 43 to the longitudinal direction of the phase mask 9.

[0051] The marker beforehand formed on the phase mask 9, and a waveguide layer or a quartz substrate performs location ***** of the phase mask 9 and optical waveguide 11 (not shown). Usually, the width of face of the diffraction grating 13 currently formed in the phase mask 9 is very large (for example, about 5mm - 1cm) as compared with the width of face of a core 17.

[0052] For this reason, a grating will be created by the flank cladding layer of the side face of a core. Since it can press down that the light by the side of the short wavelength of the reflective band in a grating leaks to a clad by this, it is effective in pressing down loss of a transparency band.

[0053] moreover, the thing for which the dose of a laser beam is made into 100 J/cm² -- refractive-index change of a grating -- a core -- 7×10^{-3} -- it became large and has exceeded enough 10^{-3} which is refractive-index change of a quartz system waveguide grating and a fiber Bragg grating.

[0054] As mentioned above, according to the gestalt of this operation, after forming a core in organic and the inorganic hybrid film, it is possible to create a grating further and the applicability of optical waveguide components becomes large. Moreover, since a grating can be created also to the flank cladding layer of the side face of a core, it can press down that the light by the side of the short wavelength of the reflective band in a grating leaks to a clad, and is effective in reducing loss of a transparency band.

[0055] (Gestalt of the 3rd operation) With the gestalt of this operation, the refractive index of a core is changed continuously and the creation approach of optical waveguide which can be used for junction of the optical components from which a core diameter differs is shown.

[0056] The approach of creating organic and the inorganic hybrid film is the same as that of the gestalt of the 1st and the 2nd operation. That is, it applies with a spin coat method using the alcoholic solution of the ingredient shown in drawing 1.

[0057] With the gestalt of this operation, a quartz substrate is used for a lower cladding layer, and organic [of the almost same refractive index as a core layer] and the inorganic hybrid film (20% of organic quantitative formulas, refractive index 1.45) are formed. The thickness of a core repeats a spin coat and desiccation twice so that it may be set to about 6 micrometers.

[0058] Next, the core from which a refractive index changes continuously is created. In order to carry out the single mode propagation of the light into a core generally, it is necessary to fill (a formula 2). Moreover, (the formula 3) expresses numerical aperture NA.

$V = K_a (n_{\text{core2}} - n_{\text{clad2}}) / \lambda$ (formula 2)

$NA = a / 2 (n_{\text{core2}} - n_{\text{clad2}})$ (formula 3)

However, V :normalized radian frequency, the wave number in K :vacuum, a :core diameter, the refractive index of a n_{core} :core, n_{clad} : The refractive index of a clad [0059] That is, if a core diameter is enlarged, the refractive-index difference of a core and a clad may be small, and when making a core diameter small on the contrary, the refractive-index difference of a core and a clad must be enlarged.

[0060] Drawing 5 is drawing showing the optical waveguide T concerning the gestalt of this operation. Optical waveguide T is the optical waveguide to which core width of face and a refractive index were changed continuously. Usually, since the light which carries out outgoing radiation from semiconductor laser spreads when connecting a fiber with semiconductor laser, even if it shortens distance of a fiber and laser, joint effectiveness is acquired only about 10%.

[0061] As shown in drawing 5, organic and the inorganic hybrid film optical waveguide T have the core 83 from which core width of face and a refractive index change continuously in order to combine semiconductor laser (LD) 81 and a fiber 87.

[0062] Light which enlarges core width of face and spreads is made easy to receive, and the core 83 of the side combined with LD81 makes a refractive-index difference small. The core 83 of the side combined with a fiber 87 narrows width of face so that opening of a thin fiber may be suited, and it enlarges a refractive-index difference. If it carries out like this, joint effectiveness with the thing of different core width of face like LD and a fiber can be raised.

[0063] Next, organic and the creation approach of the inorganic hybrid film optical waveguide T are shown. First, using the alcoholic solution of the ingredient shown in drawing 1, with a spin coat method, organic and the inorganic hybrid film are applied so that thickness may be set to about 6 micrometers, and a core layer is formed.

[0064] Next, the mask which has the tooth space gradually changed to 8 micrometers is arranged on a core layer at another [6 micrometers and] edge for patterning of a core (for example, one side). UV light is irradiated along with this tooth-space pattern. Used UV light is Ar-CW laser (300Fred(s) made from coherent, wavelength of 244nm). UV light is one with small (for example; 0.5mmx2mm) exposure area, and when drawing die length is larger than this, the means to which a substrate or laser is moved is required for it.

[0065] An exposure is made into 56 J/cm² by 100 J/cm² and 8-micrometer part in 6-micrometer part, and it was made to change gradually with the gestalt of this operation in the meantime. An exposure can be considered as follows.

[0066] The exposure area of laser is 0.5mm in abbreviation die-length [of 2mm] x width of face. Since the output of laser is 50mW, the exposure per unit area serves as 5 W/cm². When waveguide is longer than the exposure area of laser (for example, die length which is 1cm), and when scanning to the longitudinal direction of laser exposure area, it depends for the exposure in a certain part on waveguide on scan speed.

[0067] That is, exposure area (2mm) / scan speed of the longitudinal direction of the exposure (W/cm²) x laser per exposure (J/cm²) = unit area (mm/sec)

It becomes.

[0068] In order to change an exposure, it roughly divides and there are two means. One is the approach of adjusting so that a laser beam may be made to irradiate through an attenuator and the exposure per unit area may be changed gradually. Other one is the approach of fixing the amount of laser radiation and making a waveguide substrate or a scanning speed of a laser beam change gradually.

[0069] Thus, on the created core, organic [of the same presentation as a core layer] and 10 micrometers - 15 micrometers of inorganic hybrid film are applied, an up cladding layer is formed by drying, and the optical waveguide film from which the refractive index and width of face of a core changed continuously is completed.

[0070] With the gestalt of this operation, since the refractive index and width of face of a core can be continuously changed by changing the exposure of UV light to organic and the inorganic hybrid film continuously using the mask to which core width of face was changed continuously, the optical waveguide which can be used for the junction with a different core diameter of optical components can be offered.

[0071] (Gestalt of the 4th operation) The gestalt of this operation explains a means to wire optical waveguide like optical wiring on a waveguide substrate, using organic and the inorganic hybrid film. In order to arrange a core efficiently on an optical waveguide substrate, it is necessary to enlarge the curvature of the core of the curvilinear section. However, if the curvature of the small (that is, the refractive-index difference of a core and a clad is small like a single mode fiber) optical waveguide of the locked-in effect to the core of light is enlarged, light will leak to a clad and it will become big loss.

[0072] With the gestalt of this operation, in order to accumulate optical waveguide efficiently on an optical waveguide base, the formation approach of the large (the refractive-index difference of a clad and a core is large) waveguide of the locked-in effect of the light of a bending part is explained so that the curvature of the bending part of a core can be enlarged.

[0073] First, the alcoholic solution of the ingredient shown in drawing 1 is applied on a quartz substrate like the gestalt of other operations, and a core layer is formed. Next, a bending part is made into the maximum refractive-index difference, and the core to which a refractive index changes from a straight-line part gradually is created.

[0074] With the usual fiber, since the diameter of the mode field (it is proportional to a core diameter) is about (the refractive-index difference of a core and a clad is about 0.3%) 8 micrometers, the rate of the maximum bending is set to about 4cm. Bend radii can be made still smaller if this diameter of the mode field becomes small.

[0075] However, since single mode propagation is conditions also here, it is necessary to fill (a formula 2). Therefore, a core diameter can be made into about 3.7 microns of mins when the refractive-index difference of a core and a clad is made into 1.4% at the maximum. The maximum bend radii at this time are set to about 2.5mm, and one 16 times [over the past] the curvature of this is obtained.

[0076] Drawing 6 is drawing showing the optical waveguide Y concerning the gestalt of this operation. the refractive-index difference of core width of face, and the core section 91 and the clad section 93 is changed continuously, and the curvilinear section attributes a refractive-index difference size, and optical waveguide Y is small in core width of face, and enlarges curvature.

[0077] Below, the creation approach of optical waveguide Y is shown. First, organic and the inorganic hybrid film are created by the same approach as the gestalt of other operations. That is, using the alcoholic solution of the ingredient shown in drawing 1, with a spin coat method, organic and the inorganic hybrid film are applied to the optical waveguide substrate 95 so that thickness may be set to about 6 micrometers, and a core layer is formed.

[0078] Next, in order to change the pattern width of face of the core section 91, the mask (the part which does not want to irradiate UV light is shaded by Cr etc.) from which 8 micrometers is changed in a straight-line part, and the tooth space was gradually changed to 3.7 micrometers in the curvilinear part is arranged on optical waveguide.

[0079] Next, UV light is irradiated along with this tooth-space pattern. Used UV light is Ar-CW laser (300Fred(s) made from

coherent, wavelength of 244nm). UV light is one with small (for example, 0.5mmx2mm) exposure area, and when drawing die length is larger than this, the means to which a substrate or laser is moved is required for it.

[0080] An exposure is made into 200 J/cm² by 56 J/cm² and 3.7-micrometer part in 8-micrometer part, and it was made to change gradually with the gestalt of this operation in the meantime.

[0081] In order to change an exposure, it roughly divides and there are two means. One is the approach of adjusting so that a laser beam may be made to irradiate through an attenuator and the exposure per unit area may be changed gradually. Other one is the approach of fixing the amount of laser radiation and making a waveguide substrate or a scanning speed of a laser beam change gradually.

[0082] Thus, on the created core, organic [of the same presentation as a core layer] and 10 micrometers - 15 micrometers of inorganic hybrid film are applied, an up cladding layer is formed by drying, and the optical waveguide film which can make the bending part of optical waveguide small, which can be integrated highly and from which the refractive index and width of face of a core changed continuously is completed.

[0083] As mentioned above, since according to the gestalt of this operation the refractive-index difference of the clad of the bending part of optical waveguide and a core can be enlarged and width of face of a core can be made small, bend radii can be made into 1/16 of the usual single mode fibers. Therefore, the amount of optical waveguide accumulable on an optical waveguide substrate can be increased, and low cost-ization is attained.

[0084] As mentioned above, although the suitable operation gestalt of the optical waveguide concerning this invention was explained referring to an accompanying drawing, this invention is not limited to this example. If it is this contractor, it will be clear that it can hit on an idea for various kinds of examples of modification or examples of correction in the criteria of the technical thought indicated by the claim, and it will be understood as what naturally belongs to the technical range of this invention also about them.

[0085] For example, as for the organic material used for organic and the inorganic hybrid film, TEOS, TMOS(s), and those condensation polymerization objects could be mixed. It is possible to change the refractive index of organic and the inorganic hybrid film by changing an ingredient and its mixing ratio.

[0086]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, the large optical waveguide of application with easy low cost and refractive-index control can be offered.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the presentation of organic [concerning this invention], and the inorganic hybrid film.

[Drawing 2] The acrylic silicon resin content dependency of the thickness of organic [concerning this invention] and the inorganic hybrid film and a refractive index is shown.

[Drawing 3] It is drawing showing the creation approach of the optical waveguide S concerning the gestalt of the 1st operation.

[Drawing 4] It is drawing showing the creation approach of the grating concerning the gestalt of the 2nd operation.

[Drawing 5] It is drawing showing the optical waveguide T concerning the gestalt of the 3rd operation.

[Drawing 6] It is drawing showing the optical waveguide Y concerning the gestalt of the 4th operation.

[Drawing 7] It is drawing showing the creation approach of an inorganic system waveguide grating.

[Drawing 8] It is drawing showing the optical waveguide which has the core section 97 of the shape of a curve by the Prior art.

[Description of Notations]

61 UV Laser

63 Mask

65 Core

67 Core Layer

69 Lower Clad

71 Up Clad

S Optical waveguide

[Translation done.]

(11)特許出願公開番号
特開2001-255425
(P2001-255425A)

(43)公開日 平成13年9月21日(2001.9.21)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
G 0 2 B 6/12		C 0 8 J 7/00	3 0 4 2 H 0 4 7
C 0 8 J 7/00	3 0 4	G 0 2 B 6/12	N 4 F 0 7 3
G 0 2 B 6/13			M
6/122			A

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2000-73999(P2000-73999)

(22)出願日 平成12年3月13日(2000.3.13)

(71)出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72)発明者 寺尾 芳孝

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(74) 代理人 100095957

井理士 亀谷 美明 (外2名)

Fターム(参考) 2H047 KA04 KA08 KA13 LA02 PA11

PA21 PA28 QA01 QA05 TA43

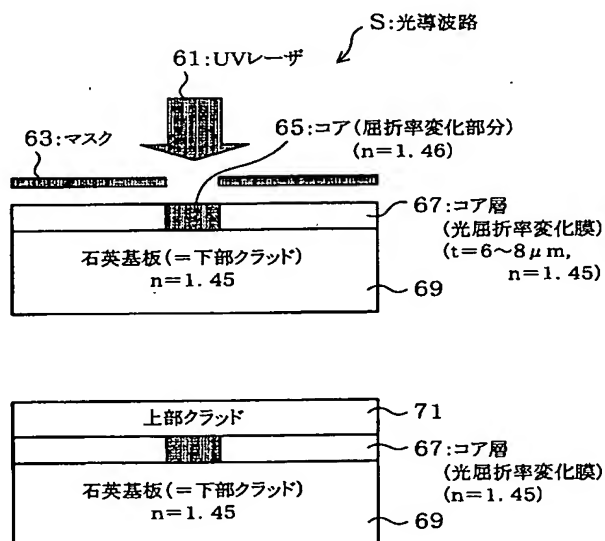
4F073 AA14 BA18 BB03 CA46 HA12

(54) 【発明の名称】 光導波路

(57) 【要約】

【課題】 低コストかつ屈折率制御が容易で、応用性の広い光導波路を提供すること。

【解決手段】 下部クラッド６９となる石英基板上に、有機および無機ハイブリッド膜をスピンコート法と乾燥を繰り返して塗布し、屈折率が下部クラッド６９とほぼ同様なコア層６７を形成する。その後、コアとする部分のみ光が透過するようにスペースを設け、他はＣｒ等で遮光されたマスク６３をコア層６７上に配置し、ＵＶレーザ６１を照射すると、照射された部分のみ屈折率が変化し、コア６５となる。さらにコア層６７上に、コア層６７と同様に有機および無機ハイブリッド膜を塗布して上部クラッド７１とし、光導波路が完成する。なお、ＵＶレーザ６１の照射時間、および強度を変化させると、屈折率の変化を制御できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 導波路の組成を有機および無機ハイブリッド膜とし、前記無機成分を、テトラエトキシシラン、テトラエトキシシランの縮重合体、テトラメトキシシラン、およびテトラメトキシシランの縮重合体より構成されたグループから選択されたいずれか一つの物質、または、前記グループから選択された複数の物質の混合物とし、前記有機成分を、アクリル樹脂とし、UV光を照射することにより、前記有機および無機ハイブリッド膜の屈折率を上昇させることを特徴とする光導波路。

【請求項2】 前記屈折率が上昇した部分をコアとすることを特徴とする請求項1に記載の光導波路。

【請求項3】 前記アクリル樹脂を、アクリルおよびシリコン変性樹脂とすることを特徴とする請求項1に記載の光導波路。

【請求項4】 前記アクリル樹脂を、アクリル樹脂に含まれるカルボキシル基に、アルキル基、またはアルキル基を介在して、トリアルコキシシラン基、またはアルコール基、またはジシラン基を結合させた、アクリルおよびシリコン変性樹脂とすることを特徴とする請求項1に記載の光導波路。

【請求項5】 前記有機および無機ハイブリッド膜中の有機成分の比率を6%~60%としたことを特徴とする請求項1に記載の光導波路。

【請求項6】 前記UVレーザ光の波長を193nm~400nmとすることを特徴とする請求項1に記載の光導波路。

【請求項7】 前記コア上に、屈折率が周期的に変化した領域を設けることを特徴とする請求項2に記載の光導波路。

【請求項8】 前記コアの屈折率変化を連続的变化とすることを特徴とする請求項2に記載の光導波路。

【請求項9】 前記コアの幅を連続的に変化させたことを特徴とする請求項2に記載の光導波路。

【請求項10】 前記コアの屈折率変化を連続的变化とし、かつ、前記コアの幅を連続的に変化させたことを特徴とする請求項2に記載の光導波路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光導波路に関し、特に、導波路の組成を有機および無機ハイブリッド膜とした光導波路に関する。

【0002】

【従来の技術】平面基板上に形成された光導波路の組成は大きく分けて、無機系および有機系の2つが知られている。前者は、SiO₂を母体にコアとクラッドの屈折率を制御するため、酸化ゲルマニウム、酸化ホウ素、酸化リン等をドーピングさせている。作成方法としては、火炎堆積法、CVD法などが知られている。

【0003】また後者は、スピンコート法などを用いて

容易に膜を形成できるように、有機ポリマーを用いた方法であり、フッ素化ポリイミド等が知られている。これらの基本的な作成方法を以下に説明する。

【0004】無機系導波路膜では、まずSi基板上に、光導波路の基本となる下部クラッド層（厚さ約20μm）、コア層（厚さ5~11μm、幅5~11μm）、上部クラッド層（厚さ約20μm）となるSiO₂膜を、火炎堆積法もしくはCVD法により形成する。

【0005】コア層には、シングルモードでコア中に光を伝播させるためにクラッドとの屈折率差を持たせる目的で、GeO₂をドーピング（20体積%以内、屈折率差0.2~0.8%）させている。コアのパターニングには、リアクティブ・イオン・エッチング法（RIE法）を用いる。

【0006】有機系導波路膜では、石英ガラスもしくはSi基板上に、導波路の基本となる下部クラッド層（厚さ約20μm）、コア層（厚さ5~11μm、幅5~11μm）、上部クラッド層（厚さ約20μm）となる膜を、スピンコート法により形成する。

【0007】コアとクラッドの屈折率差は、フッ素化ポリイミド中のフッ素含有量を調整することで容易に行える。コアのパターニングには、無機系同様RIE法を用いる。

【0008】次に、導波路上にグレーティングを作成する従来の方法を、説明する。これは、導波路上に周期的な屈折率変化を起こさせることにより、その屈折率の周期に合った波長の光を反射させ、それ以外は透過させる特性を持ち、光通信で幅広く用いられている。

【0009】図7は、無機系導波路グレーティングの作成方法を示す図である。無機系導波路においては、コアにUV光を照射することで、コアの屈折率が増加することが知られている。これは、コア中に含まれるGeO₂-SiO₂構造において、UV光が作用して酸素欠陥が生じることに起因する。このとき屈折率変化は一般的に10⁻³オーダーとなる。

【0010】この無機系導波路上にグレーティングを作成するためには、位相マスク法が用いられる。図7に示すように、まずレーザ光源2（ラムダ・フィジクス製KrFエキシマレーザ）から波長248nmのレーザ光51が出力され、アッテネータ3を通過する。

【0011】次に、ミラー5により方向を転換され、シリンドリカルレンズ7によりビーム径が調整されて位相マスク9に照射される。この位相マスク9によりレーザ光53は回折され、縞模様の回折光55が生じる。

【0012】位相マスク9の下部に、クラッド35が露出した状態の無機系感光性導波路31を設置すると、回折光強度の高い部分でコア部37に局所的な屈折率変化が起こる。この導波路31の軸方向からレーザ光61を入射させると、（式1）に示す波長の光λ_b63はブラッグ反射により入射端39に出射される。

【0013】 $\lambda b = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda$ (式1)

ここで、 n_{eff} はグレーティング部のコア実効屈折率、 Λ は導波路の屈折率変化の周期である。

【0014】位相マスク9は、表面もしくは裏面のどちらか一方に、回折格子13となる凹凸パターンが形成されている。この周期は Λ の2倍となる。以下にその作成方法を説明する。

【0015】まず、石英ガラス基板にCr薄膜をスパッタリングもしくは蒸着法により形成する。次に、電子ビームリソグラフィ法により、Cr薄膜をパターニングする。このとき、ライン(Cr部)およびスペースを等寸法 Λ としておく。2 Λ が回折格子列の周期となる。

【0016】その後、Crパターンをマスクとして下地の石英を、イオンエッチング法を用いてエッチングし、溝を形成する。Cr薄膜を酸により除去すると、石英基板上に回折格子列13が作成される。

【0017】一方、通常、レーザビーム53の大きさは位相マスクの長さ(最大で100mm程度)よりも小さいので、25~100mm程度の長さのグレーティングを作成する場合には、ミラー5を移動させてレーザビーム53を、位相マスク9の長手方向にスキャンする照射方法となる。

【0018】有機系導波路においては、放射光(X線)を、フッ素化ポリイミドに照射することで 10^{-2} オーダーの屈折率上昇が可能である。これは、フッ素の脱離による分子容の減少に起因すると考えられている。

【0019】有機系導波路グレーティングの作成方法は、コアとクラッドを形成したポリイミド光導波路に、回折格子パターンを有するX線マスクを介して放射光を照射することで行われる。放射光は直進性を示すため、回折格子直下のコア部の屈折率が上昇することになる。

【0020】また従来の光導波路においては、コアの屈折率は一定であった。図8は、従来の技術による曲線状のコア部97を有する光導波路を示す図である。図8に示すように、従来の光導波路はコア部97の屈折率が一定であるため、接続するファイバ等の部品との結合効率を高めるように屈折率および開口数を合わせた状態で、曲線部の曲率を大きくするのは、クラッド部98に光が漏れてしまい大きな損失となるので不可能であった。

【0021】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記構成の無機系導波路においては、低ロスの反面真空装置およびフォトリソグラフィ工程を用いるので、作成コストが高くなる。また、膜厚は1 μ m程度が限界で、それ以上は厚くできない。有機系導波路においては、真空装置は用いないが、ロスが若干高く、コアの形成にはフォトリソグラフィを用いるのでやはり作成コストが高い。

【0022】また、両者とも屈折率の制御が容易には行えないため、応用範囲は狭くなる。また、コアのパターニング後にグレーティングを作成することはできないの

で、それにより透過帯域の損失を抑えることはできず、光導波路の配線の集積度を上げることも困難であるという問題点があった。

【0023】本発明は、従来の光導波路が有する上記問題点に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、低コストかつ屈折率制御が容易で、応用性の広い光導波路を提供することにある。

【0024】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、導波路の組成を有機および無機ハイブリッド膜とし、無機成分を、テトラエトキシシラン、テトラエトキシシランの縮重合体、テトラメトキシシラン、およびテトラメトキシシランの縮重合体より構成されたグループから選択されたいずれか一つの物質、または、前記グループから選択された複数の物質の混合物とし、有機成分を、アクリル樹脂とし、UV光を照射することにより、有機および無機ハイブリッド膜の屈折率を上昇させることを特徴とする光導波路が提供される。屈折率が上昇した部分をコアとすることを特徴とする光導波路でもよい。

【0025】かかる構成によれば、低コストかつ屈折率制御が容易な応用性の広い光導波路を提供できる。

【0026】また、コア上に、屈折率が周期的に変化した領域を設けることを特徴とする光導波路としてもよい。かかる構成によれば、低コストかつ透過光の損失を低減したグレーティングを有する光導波路が提供される。

【0027】また、コアの屈折率あるいはコア幅を連続的に変化させる、あるいはその両者を共に連続的に変化させる光導波路としてもよい。かかる構成によれば、ファイバと半導体レーザのように、異なるコア幅の光導波路との方が結合効率を高くできるような場合に、コア幅が狭い部分ではコアとクラッドの屈折率差を大きく、広い部分では小さくし、2つの部品の接合に用いることができるなど、応用性の広い光導波路が提供される。

【0028】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照しながら、本発明にかかる光導波路の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0029】(第1の実施の形態)まず、UV照射により屈折率を変化させることができる有機および無機ハイブリッド膜の製法を説明する。図1は、本実施の形態にかかる有機および無機ハイブリッド膜の組成を示す図である。

【0030】図1に示すように、無機材料Aとしてテトラエトキシシラン(TEOS)またはテトラメトキシシラン(TMOS)の縮重合体のアルコール溶液を用いる。有機材料Bとしては、アクリル樹脂を主鎖としてジ

メチルシラン構造体を側鎖に持つ樹脂を、アルコール中に混合させた溶液を用いる。

【0031】上記の無機材料A、および有機材料Bを所望の粘度に調整後、スピンコート法によりSiもしくはSiO₂基板に塗布し、100℃15分の乾燥により、有機および無機ハイブリッド膜が完成する。

【0032】ただし、有機と無機材料の混合比には最適値が存在する。図2は、有機および無機ハイブリッド膜の膜厚と屈折率のアクリルシリコン樹脂含有量依存性を示したものである。

【0033】図2に示すように、有機材料の含有量が6%以下であるP領域、6%~60%であるQ領域、60%以上であるR領域に分けるとする。P領域では、膜にひび割れが生じ、R領域では膜にしわが発生し、共に表面の平滑性が失われてしまう。よって、光導波路に使用できるのは、Q領域、すなわち有機材料の含有量が6%~60%の範囲である。

【0034】また、膜厚は有機材料の含有量が増えるにつれて増加し、1度の塗布で約7μm程度まで形成することができる。光導波路に使用できるのは、有機材料の含有量の最適範囲であるQ領域における膜厚、すなわち約2μmから7μmである。このとき屈折率は約1.44~1.47の範囲であり、石英とほぼ同じ値である。

【0035】次に、上記のように調整した膜を用いて光導波路を作成する方法を説明する。図3は、本実施の形態にかかる光導波路Sの作成方法を示す図である。本実施の形態では、下部クラッド層69に石英基板（屈折率1.45）を用い、コア層67にはほぼ同じ屈折率の有機および無機ハイブリッド膜（有機成分含有量20%、屈折率1.45）を形成する。コアの膜厚は例えば6μm程度になるように、スピンコートと乾燥を2回繰り返す。

【0036】次に作成したいコア65のパターン幅（例えば6μm）と同一のスペースの空いたマスク63（UV光を照射したくないエリアはCr等で遮光されている）をコア層67上に配置する。

【0037】マスク63のスペースパターンに沿って、UVレーザ61を照射する。もちいたUVレーザ61は、Ar-CWレーザ（コヒーレント製300Fre d、波長244nm）である。UVレーザ61は照射エリアが小さい（例えば0.5mm×2mm）ので、描画長さがこれよりも大きい場合には基板またはレーザを移動させる手段が必要である。

【0038】本実施の形態ではUVレーザ61の照射量を200J/cm²とした。その結果、UVレーザ61が照射された部分であるコア65は、照射されていないところに比べて屈折率が1.4%増加した。これは、コアとクラッドとに必要な屈折率差0.2%~0.8%を十分満たす値である。また、屈折率変化の調整は、UVレーザ61の照射量を変えることで可能となる。

【0039】コア層67でUVレーザ61の照射されていない部分は下部クラッド層69と同じ屈折率であるから、構造上、側部クラッドとなる。この膜上に、コア層67と同じ組成の有機および無機ハイブリッド膜を10μmから15μm塗布し、乾燥することで上部クラッド71が形成され、光導波路Sが完成する。

【0040】このように本実施の形態によれば、真空装置およびフォトリソグラフィ工程をまったく用いないで、光導波路のコアとクラッド層とを作成することができ、また、屈折率の制御が容易なので、低コストで応用性の広い光導波路が作成可能である。

【0041】（第2の実施の形態）本実施の形態は、第1の実施の形態で作成した光導波路にグレーティングを作成するものである。まず、第1の実施の形態と同様、図1に示す材料のアルコール溶液を用い、図3に示す手順で有機および無機ハイブリッド膜を作成する。すなわち、スピンコート法で塗布された有機および無機ハイブリッド膜のコア層において、マスクを用いて限定されたエリアにUV光を照射して屈折率を変化させ、コアを作成する。さらに上部クラッドとして同一材料を塗布して光導波路を完成させる。ここでは、UV光の照射量は100J/cm²とした。

【0042】次に、図4を参照しながらグレーティングの作成方法を説明する。図4は、本実施の形態にかかるグレーティングの作成方法を示す図である。グレーティングを作成するためには、位相マスク法が用いられる。

【0043】図4に示すように、まずレーザ光源1（コヒーレント製Ar-CWレーザ）から波長244nmのレーザ光41が出力され、アッテネータ3を通過する。

【0044】次に、ミラー5により方向を転換され、シリンドリカルレンズ7によりビーム径が調整されて位相マスク9に照射される。この位相マスク9によりレーザ光43は回折され、縞模様の回折光45が生じる。

【0045】位相マスク9の下部に、クラッド15が露出した状態の有機および無機ハイブリッド膜による光導波路11を設置すると、回折光強度の高い部分でコア部17に局所的な屈折率変化が起こる。この導波路11の軸方向からレーザ光61を入射させると、（式1）に示す波長の光λb63はブラッグ反射により入射端19に出射される。

$$\lambda b = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda \quad (式1)$$

ここで、n_{eff}はグレーティング部のコア実効屈折率、Λは導波路の屈折率変化の周期である。

【0047】位相マスク9は、表面もしくは裏面のどちらか一方に、回折格子13となる凹凸パターンが形成されている。この周期はΛの2倍となる。以下にその作成方法を説明する。

【0048】まず、石英ガラス基板にCr薄膜をスパッタリングもしくは蒸着法により形成する。次に、電子ビ

ームリンググラフィ法により、Cr薄膜をパターニングする。このとき、ライン（Cr部）およびスペースを等寸法 Λ としておく。2 Λ が回折格子列の周期となる。

【0049】その後、Crパターンをマスクとして下地の石英を、イオンエッチング法を用いてエッチングし、溝を形成する。Cr薄膜を酸により除去すると、石英基板上に回折格子列13が作成される。

【0050】一方、通常、レーザ光43の大きさは位相マスク9の長さ（最大で100mm程度）よりも小さいので、25mm～100mm程度の長さのグレーティングを作成する場合には、ミラー5を移動させてレーザ光43を、位相マスク9の長手方向にスキャンする照射方法となる。

【0051】位相マスク9と光導波路11との位置あわせは、予め位相マスク9と、導波路層もしくは石英基板上に形成しておいたマーカー等（図示せず）により行う。通常、位相マスク9に形成されている回折格子13の幅は、コア17の幅と比較して非常に広く（例えば約5mm～1cm）なっている。

【0052】このため、コアの側面の側部クラッド層にもグレーティングが作成されることになる。これによりグレーティングにおける反射帯域の短波長側の光がクラッドへ漏れるのを押さえられるので、透過帯域の損失を押さえる効果がある。

【0053】また、レーザ光の照射量を100J/cm²とすることで、グレーティングの屈折率変化はコアよりも7×10⁻³大きくなり、石英系導波路グレーティ *

$$V = Ka (n_{core}^2 - n_{clad}^2)^{1/2} < 2.405 \quad (式2)$$

$$NA = a (n_{core}^2 - n_{clad}^2)^{1/2} \quad (式3)$$

ただし、V：規格化周波数、K：真空中の波数、a：コア径、n_{core}：コアの屈折率、n_{clad}：クラッドの屈折率

【0059】つまり、コア径を大きくするとコアとクラッドとの屈折率差は小さくてよく、反対にコア径を小さくする場合には、コアとクラッドの屈折率差は大きくしなければならない。

【0060】図5は、本実施の形態にかかる光導波路Tを示す図である。光導波路Tは、コア幅および屈折率を連続的に変化させた光導波路である。通常、半導体レーザとファイバーを接続する場合、半導体レーザから出射する光は広がるため、ファイバとレーザとの距離を短くしても、結合効率は10%程度しか得られない。

【0061】図5に示すように、有機および無機ハイブリッド膜光導波路Tは、半導体レーザ（LD）81とファイバ87を結合させるため、コア幅、および屈折率が連続的に変化するコア83を有する。

【0062】LD81に結合させる側のコア83は、コア幅を大きくして広がる光を受光しやすくし、屈折率差は小さくする。ファイバー87に結合させる側のコア83は、細いファイバーの開口部に合うように幅を狭く

*ングや、ファイバブラッググレーティングの屈折率変化である10⁻³を十分に上回っている。

【0054】以上のように、本実施の形態によれば、有機および無機ハイブリッド膜にコアを形成した後、さらにグレーティングを作成することが可能であり、光導波路部品への適用範囲が広がる。また、コアの側面の側部クラッド層にもグレーティングが作成できるので、グレーティングにおける反射帯域の短波長側の光がクラッドへ漏れるのを押さえられ、透過帯域の損失を低減する効果がある。

【0055】（第3の実施の形態）本実施の形態では、コアの屈折率を連続的に変化させて、コア径の異なる光部品同士の接合に用いることができる、光導波路の作成方法を示す。

【0056】有機および無機ハイブリッド膜を作成する方法は、第1および第2の実施の形態と同様である。すなわち、図1に示した材料のアルコール溶液を用い、スピンコート法により塗布する。

【0057】本実施の形態では、下部クラッド層に石英基板を用い、コア層にはほぼ同じ屈折率の有機および無機ハイブリッド膜（有機成分含有量20%、屈折率1.45）を形成する。コアの膜厚は6μm程度になるように、スピンコートと乾燥を2回繰り返す。

【0058】次に、連続的に屈折率が変化するコアを作成する。一般に光をコア中にシングルモード伝播させるには、（式2）を満たす必要がある。また、（式3）は開口数NAを表している。

し、屈折率差は大きくする。こうすれば、LDとファイバのように異なるコア幅のものととの結合効率を向上させることができるようになる。

【0063】次に、有機および無機ハイブリッド膜光導波路Tの作成方法を示す。まず、図1に示した材料のアルコール溶液を用い、スピンコート法により、膜厚が約6μmになるように有機および無機ハイブリッド膜を塗布し、コア層を形成する。

【0064】次に、コアのパターニングのため、例えば片側で6μm、もう一方の端で8μmに徐々に変化させたスペースを有するマスクをコア層上に配置する。このスペースパターンに沿って、UV光を照射する。用いたUV光は、Ar-CWレーザ（コヒーレント製300F red、波長244nm）である。UV光は照射エリアが小さい（例えば0.5mm×2mm）ので、描画長さがこれよりも大きい場合には基板またはレーザを移動させる手段が必要である。

【0065】本実施の形態では、照射量を6μm部分では100J/cm²、8μm部分では56J/cm²とし、その間は徐々に変化するようにした。照射量は以下のように考えることができる。

【0066】レーザの照射エリアは、約長さ2mm×幅0.5mmである。レーザの出力は、50mWであるから、単位面積あたりの照射量は $5\text{W}/\text{cm}^2$ となる。レーザの照射エリアよりも導波路が長い場合（例えば1cmの長さ）に、レーザ照射エリアの長手方向にスキャンするとしたとき、導波路上のある部分での照射量は、スキャン速度に依存する。

【0067】つまり、
照射量 (J/cm^2) = 単位面積あたりの照射量 (W/cm^2) × レーザの長手方向の照射エリア (2mm) / スキャン速度 (mm/sec)
となる。

【0068】照射量を変化させるためには、大きく分けて2つの手段がある。1つは、アッテネータを介してレーザ光を照射させ、単位面積あたりの照射量を徐々に変化させるように調整する方法である。他の一つは、レーザ照射量を一定にして、導波路基板もしくはレーザ光のスキャン速度を徐々に変化するようにする方法である。

【0069】このようにして作成したコア上に、コア層と同じ組成の有機および無機ハイブリッド膜を $10\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ 塗布し、乾燥することで上部クラッド層が形成され、連続的にコアの屈折率および幅が変化した光導波路膜が完成する。

【0070】本実施の形態では、有機および無機ハイブリッド膜に、コア幅を連続的に変化させたマスクを用い、UV光の照射量を連続的に変化させることにより、コアの屈折率と幅を連続的に変化させることができるので、異なるコア径を持つ光部品同士の接合に用いることが可能な光導波路を提供できる。

【0071】（第4の実施の形態）本実施の形態では、有機および無機ハイブリッド膜を用いて、導波路基板上に光配線のように光導波路を配線する手段について説明する。光導波路基板上にコアを効率よく配置するためには、曲線部のコアの曲率を大きくする必要がある。しかしながら、光の、コアへの閉じ込め効果の小さい（つまりシングルモードファイバのようにコアとクラッドとの屈折率差の小さい）光導波路の曲率を大きくすると、クラッドに光が漏れてしまい、大きな損失となる。

【0072】本実施の形態では、光導波路基盤上に光導波路を効率よく集積するため、コアの曲げ部分の曲率を大きくできるように、曲げ部分の光の閉じ込め効果の大きい（クラッドとコアとの屈折率差が大きい）導波路の形成方法を説明する。

【0073】まず、他の実施の形態と同様、図1に示した材料のアルコール溶液を、石英基板上に塗布し、コア層を形成する。次に、曲げ部分を最大屈折率差にして、直線部分から徐々に屈折率が変化するコアを作成する。

【0074】通常ファイバでは、モードフィールド径（コア径に比例する）が $8\mu\text{m}$ 程度（コアとクラッドの

屈折率差が約0.3%）であるから、最大曲げ率は4cm程度となる。このモードフィールド径が小さくなれば、曲げ半径をさらに小さくすることができる。

【0075】ただし、ここでもシングルモード伝播が条件なので、（式2）を満たす必要がある。よって、コアとクラッドとの屈折率差を、最大で1.4%とした場合、コア径は最小約3.7ミクロンとすることができる。このときの最大曲げ半径はほぼ2.5mmとなり、従来の16倍の曲率が得られる。

【0076】図6は本実施の形態にかかる光導波路Yを示す図である。光導波路Yは、コア幅、およびコア部91とクラッド部93との屈折率差を連続的に変化させ、曲線部は屈折率差を大きくして、コア幅を小さく、曲率を大きくしたものである。

【0077】以下に、光導波路Yの作成方法を示す。まず、他の実施の形態と同様の方法で有機および無機ハイブリッド膜を作成する。すなわち、図1に示した材料のアルコール溶液を用い、スピンコート法により、膜厚が約 $6\mu\text{m}$ になるように有機および無機ハイブリッド膜を光導波路基板95に塗布し、コア層を形成する。

【0078】次に、コア部91のパターン幅を変えるため、例えば直線部分で $8\mu\text{m}$ 、曲線部分で $3.7\mu\text{m}$ に徐々にスペースを変化させたマスク（UV光を照射したくない部分は、Cr等で遮光されている）を光導波路上に配置する。

【0079】次にこのスペースパターンに沿って、UV光を照射する。用いたUV光は、Ar-CWレーザ（コヒーレント製300Fred；波長244nm）である。UV光は照射エリアが小さい（例えば $0.5\text{mm} \times 2\text{mm}$ ）ので、描画長さがこれよりも大きい場合には基板またはレーザを移動させる手段が必要である。

【0080】本実施の形態では、照射量を $8\mu\text{m}$ 部分では $56\text{J}/\text{cm}^2$ 、 $3.7\mu\text{m}$ 部分では $200\text{J}/\text{cm}^2$ とし、その間は徐々に変化するようにした。

【0081】照射量を変化させるためには、大きく分けて2つの手段がある。1つは、アッテネータを介してレーザ光を照射させ、単位面積あたりの照射量を徐々に変化させるように調整する方法である。他の一つは、レーザ照射量を一定にして、導波路基板もしくはレーザ光のスキャン速度を徐々に変化するようにする方法である。

【0082】このようにして作成したコア上に、コア層と同じ組成の有機および無機ハイブリッド膜を $10\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ 塗布し、乾燥することで上部クラッド層が形成され、光導波路の曲げ部分を小さくすることができる。高集積化が可能な、連続的にコアの屈折率および幅が変化した光導波路膜が完成する。

【0083】以上のように、本実施の形態によれば、光導波路の曲げ部分のクラッドとコアとの屈折率差を大きくし、かつコアの幅を小さくすることができるので、曲

げ半径を通常のシングルモードファイバの1/16にすることができる。よって、光導波路基板上に集積できる光導波路の量を増やすことができ、低コスト化が図られる。

【0084】以上、添付図面を参照しながら本発明にかかる光導波路の好適な実施形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

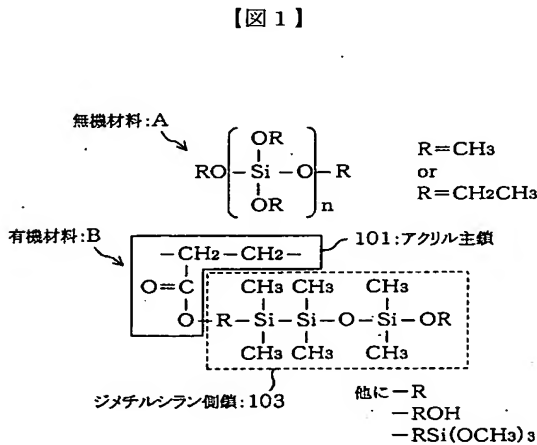
【0085】例えば、有機および無機ハイブリッド膜に用いられる有機材料はTEOSおよびTMOS、およびそれらの縮重合体の混合されたものでもよい。材料およびその混合比を変えることで、有機および無機ハイブリッド膜の屈折率を変えることが可能である。

【0086】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、低コストかつ屈折率制御が容易な応用性の広い光導波路を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる有機および無機ハイブリッド膜の組成を示す図である。



【図2】本発明にかかる有機および無機ハイブリッド膜の膜厚と屈折率のアクリルシリコン樹脂含有量依存性を示したものである。

【図3】第1の実施の形態にかかる光導波路Sの作成方法を示す図である。

【図4】第2の実施の形態にかかるグレーティングの作成方法を示す図である。

【図5】第3の実施の形態にかかる光導波路Tを示す図である。

10 【図6】第4の実施の形態にかかる光導波路Yを示す図である。

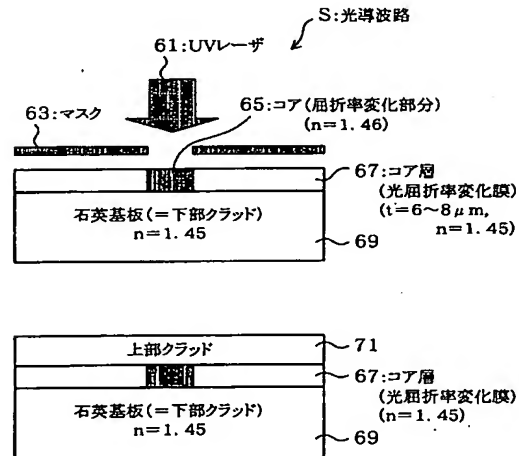
【図7】無機系導波路グレーティングの作成方法を示す図である。

【図8】従来の技術による曲線状のコア部97を有する光導波路を示す図である。

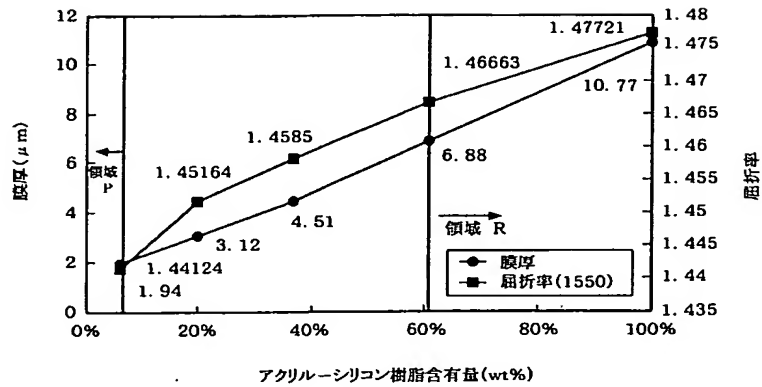
【符号の説明】

61 UVレーザ
63 マスク
65 コア
67 コア層
69 下部クラッド
71 上部クラッド
S 光導波路

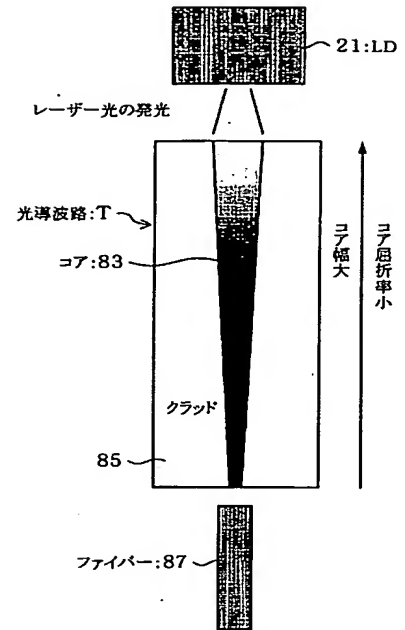
【図3】



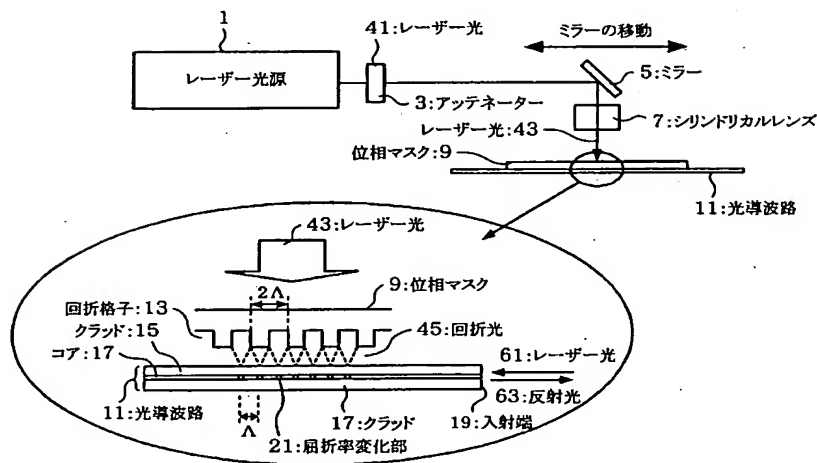
【図2】



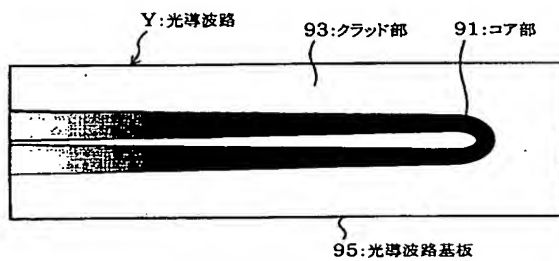
【図5】



【図4】



【図6】



【図8】

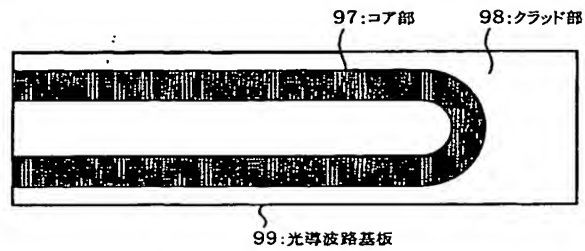


Figure 1 is a schematic diagram of a laser light irradiation system. The main part of the diagram shows a laser light source (2) emitting a laser beam (51) through an attenuator (3) and a phase mask (9). The beam is reflected by a mirror (5) and focused by a cylindrical lens (7) onto a photosensitive waveguide (8). An inset shows a detailed view of the waveguide structure, including a core (37), cladding (35), and a phase mask (9) with a period of 2Λ . The waveguide also contains a refractive index change section (33) with a period of Λ . The beam is reflected by a mirror (61) and exits as a reflected beam (63).

BEST AVAILABLE COPY